

Śledzenie ścieżki wzroku w ocenie użyteczności oprogramowania

Paweł Krzos

Politechnika Wrocławska
Wydział Informatyki i Zarządzania

Abstrakt: Celem tego artykułu jest dokonanie przeglądu literatury związanej z zastosowaniem śledzenia ścieżki wzroku do oceny użyteczności oprogramowania. Ocena użyteczności jest procesem trudnym, ponieważ znaczącą rolę odgrywają indywidualne cechy i preferencje badanych, co utrudnia sformułowanie ogólnych wzorców. Śledzenie ścieżki wzroku (ang. *eye-tracking*) polega na pomiarze ruchów gałki ocznej i odwzorowaniu ich w przestrzeni na elementy, na które kierowany jest wzrok badanego. Proces ten jest jednym z podstawowych narzędzi umożliwiających dokonywanie oceny użyteczności oprogramowania. W pierwszej części artykułu omówiono znaczenie problematyki użyteczności oprogramowania oraz stosowane metody jej ewaluacji. Wskazano związek metryk użyteczności z metrykami eye-trackingu. W dalszej części przedstawiono zagadnienie śledzenia ścieżki wzroku. Przytoczono historię badań, opisano standardową zalecaną konfigurację stanowiska badawczego, omówiono także przykładowe miary stosowane w eye-trackingu. Następnie zaprezentowano przykłady przeprowadzonych eksperymentów oraz pola do dalszych badań. Wiedza z zakresu wykorzystania eye-trackingu w ocenie użyteczności jest wprawdzie ugruntowana, ale wciąż niezbędne są dalsze prace między innymi w obszarze standaryzacji, walidacji nowych technologii, a także stosowania dodatkowych źródeł danych (np. FaceReader).

Słowa kluczowe: użyteczność oprogramowania, eye-tracking

1. Wprowadzenie

Użyteczność oprogramowania to jeden z ważniejszych czynników charakteryzujących jakość oprogramowania. Wiele podmiotów jest zainteresowanych oprogramowaniem cechującym się wysoką użytecznością. Wśród nich należy wymienić między innymi użytkowników, projektantów oraz zleceniodawców przedsięwzięć programistycznych. Ocena użyteczności oprogramowania może być dokonywana na różne sposoby, a jedna z częściej stosowanych metod polega na śledzeniu ścieżki wzroku (ang. *eye-tracking*). Pomimo znacznej uwagi poświęcanej temu zagadnieniu wciąż pozostaje sporo obszarów wymagających naukowego opracowa-

Korespondencja:
Paweł Krzos
Politechnika Wrocławska
Wydział Informatyki i Zarządzania
Katedra Systemów Zarządzania
(W8/K6)
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław, Poland
Tel. +48 793 777 204
E-mail: pawel.krzos@pwr.edu.pl

nia i dalszych badań. Artykuł przedstawia aktualny stan wiedzy z zakresu zastosowania śledzenia ścieżki wzroku w ocenie użyteczności oprogramowania.

2. Problematyka oceny użyteczności oprogramowania

Jakość jest pojęciem rozmytym, jednak w kontekście interakcji człowiek–komputer standardyzują ją między innymi normy ISO 9241-11 (2010) oraz ISO 25010 (2011). Użyteczność jest definiowana według normy ISO 9241-11 jako „miara wydajności, efektywności i satysfakcji użytkownika, z jaką dany produkt może być używany dla osiągnięcia danych celów przez danych użytkowników w danym kontekście”. Ocena użyteczności polega na posługiwaniu się metodą, w której zbierane są dane o zachowaniu użytkownika podczas jego interakcji z oprogramowaniem (Wichansky, 2000). Ocena użyteczności nie jest zadaniem trywialnym ze względu na zróżnicowane oczekiwania i upodobania użytkowników.

Ocena użyteczności może być przeprowadzana na wiele sposobów. Niektóre z nich są mało formalne, natomiast inne wykorzystują konkretne metodyki. Najczęściej stosowane są testy użyteczności, tzw. przeglądy (ang. *walk-throughs*) i sesje ze sprzężeniem zwrotnym (ang. *feedback sessions*). Aby badania były wiarygodne, należy spełnić szereg warunków: wybrać reprezentatywną grupę badanych, zadbać o odpowiednią liczebność grupy (zależnie od problemu badawczego i stosowanych metod analizy statystycznej; przeważnie przynajmniej kilkadziesiąt osób), warunki testu muszą być kontrolowane, użytkownicy mają do wykonania pewne zadania zgodnie z określonym scenariuszem, badania mają na celu zebranie ilościowych danych o zachowaniu użytkowników (np. za pomocą kwestionariuszy, eye-trackera czy FaceReadera).

W większości przypadków szczególną uwagę poświęca się ocenie użyteczności rozwiązań przełomowych oraz ich cech raportowanych przez użytkowników jako problemowe. Badania użyteczności powinny przede wszystkim wspierać proces wytwarzania nowego oprogramowania, by na możliwie wczesnym etapie zadbać o czynniki jakości docelowego produktu. Dzięki metodom oceny użyteczności można również wnioskować o błędach projektowych w oprogramowaniu, które jest już dostępne na rynku.

Istnieje wiele metryk oceny użyteczności oprogramowania. Miles MacLeod, Rosemary Bowden, Nigel Bevan i Ian Curson (1997) przedstawiają ich klasyfikację. Metryka jest tu rozumiana jako „miara pewnej własności oprogramowania lub jego specyfikacji. Termin ten nie ma precyzyjnej definicji i może oznaczać właściwie dowolną wartość liczbową charakteryzującą oprogramowanie” (Westfall, 2005). Norma ISO 9241-11 wyróżnia trzy podcharakterystyki użyteczności: wydajność, efektywność i satysfakcję użytkownika. Wydajność wyrażana jest najczęściej jako liczba zadań ukończonych w danym czasie. Miara efektywności często wyrażana jest jako stosunek liczby zadań ukończonych w danym czasie do wszystkich wymaganych zadań. Obie wymienione miary mogą być modyfikowane przez wprowadzenie wag dla zadań ukończonych z błędami. Pomiar satysfakcji jest najbardziej subiektywny i może być przeprowadzony przy użyciu kwestionariuszy oceniających skalę pewnych cech (np. estetykę, zrozumiałość czy poziom skomplikowania interfejsu). Istnieją opracowane wzorce ankiet służące do oceny użyteczności (m.in. Chin, Diehl, Norman, 1988).

Testy użyteczności wykonywane z wykorzystaniem specjalistycznego sprzętu odbywają się najczęściej w dedykowanych laboratoriach (wyłączając sytuacje pomiarów w naturalnym

środowisku, które są jednak stosunkowo rzadko stosowane). Badany otrzymuje instrukcje, jakie zadania ma wykonać, a następnie przystępuje do realizacji przewidzianych scenariuszy. Badacz lub odpowiednie urządzenie rejestruje zachowanie badanego. Testy zwykle kończą się ankietą, w której badanemu zadawane są pytania dotyczące ewaluowanych cech oprogramowania. Istnieje wiele technik zbierania danych: od notatek poprzez formalne kwestionariusze po nagrywanie materiału audio, wideo czy nawet sygnały encefalografu. W badaniach często stosuje się kilka metod łącznie w celu podwyższenia wiarygodności otrzymanych wyników lub wskazania pewnych zależności między rejestrowanymi czynnikami.

Zebrane dane pozwalają przeprowadzić analizy statystyczne i ilościowo ocenić użyteczność oprogramowania. Funkcje interfejsu, których wykorzystywanie sprawiało problem użytkownikom (np. zbyt długi czas wykonywania zadania lub błędne wyniki), są projektowane ponownie, by dokonać kolejnej iteracji testów. Jeżeli sytuacja poprawi się, oznacza to, że nowy interfejs jest bardziej użyteczny. Wciąż brakuje norm określających bezwzględne wartości, jakie powinny przyjmować konkretne metryki. W większości wypadków odnosi się je do kontekstu biznesowego i kluczowych wskaźników efektywności (ang. *Key Productivity Index* – KPI) ustanawianych indywidualnie przez zleceniodawców i projektantów oprogramowania.

Może wystąpić kilka potencjalnych problemów z interpretacją otrzymanych rezultatów. Przykładowo: kiedy mierzony jest wyłącznie czas pomiędzy przełączeniem ekranów, brakuje informacji o tym, czy użytkownik spędził długą chwilę na śledzeniu danego ekranu, ponieważ akurat wykonywał tam długotrwałą czynność związaną z zadaniem (np. czytanie treści artykułu), czy też był zagubiony i nie wiedział, co dalej zrobić (Karn, Ellis, Juliano, 1999). Pozycja kursora nie implikuje zwracania uwagi przez użytkownika na wskazywany punkt (Byrne, Anderson, Douglass, Matessa, 1999). Istotne jest zatem stosowanie jednocześnie wielu miar, weryfikacja korelacji i zrozumienie znaczenia wyników. Istnieje także potrzeba uzyskania opisu jak najwierniej odzwierciedlającego zachowanie użytkownika. Pozwalają na to między innymi testy użyteczności z wykorzystaniem eye-trackera.

Wiele badań dowiodło istnienia związku między metrykami uzyskanymi za pomocą śledzenia ścieżki wzroku a metrykami użyteczności oprogramowania. Między innymi Joseph H. Goldberg i Xerxes P. Kotval (1999) sprawdzili różne wersje układu elementów interfejsu edytora graficznego, zbierając dane za pomocą eye-trackera oraz przeprowadzając ankietę wśród projektantów aplikacji. Zauważono, że dłuższy czas wykonania zadań (przykładowe metryki eye-trackera: średnia amplitud sakkad, liczba fiksacji czy czas do momentu zwrócenia uwagi na zadany obszar) przekłada się na niższą użyteczność (przykładowe metryki użyteczności to zrozumiałość czy operatywność).

3. Problematyka śledzenia ścieżki wzroku

Thomas H. Davenport i John C. Beck (2001) stwierdzają: „Oczy nie kłamią. Jeżeli chcesz wiedzieć, na co ludzie zwracają uwagę, obserwuj, na co patrzą”. Marcel Adam Just i Patricia A. Carpenter (1976) dowiedli w swoich badaniach, że kierunek patrzenia jest bezpośrednio powiązany z bieżącymi procesami myślowymi człowieka. Przyjmując to założenie, eye-tracking może dostarczyć bardzo szczegółowych i cennych danych. Wykorzystanie tej

technologii wymaga odpowiedniej konfiguracji sprzętu i środowiska badawczego, zaplanowania eksperymentu oraz zebrania danych pomiarowych od uczestników.

Badania nad ruchami gałek ocznych i śledzeniem ścieżki wzroku trwały od wieków i trudno jest jednoznacznie wskazać ich początek. Nicholas J. Wade i Benjamin W. Tatler (2005) wymieniają pracę André Du Laurensa z 1596 roku jako pierwszą, która zawiera wzmianki o ruchach oczu. Regularne badania okulograficzne zostały opisane przez Johannesa Müllera w 1826 roku. Jednocześnie prace nad tym zagadnieniem prowadził Charles Bell, który w 1823 roku przedstawił wyniki swoich badań. Naukowe badanie ludzkiej uwagi trwało nieprzerwanie (m.in. Posner, 1980; Treisman, Gelade, 1980; Noton, Stark, 1971; Yarbus, 1967; Deutsch, Deutsch, 1963; Broadbent, 1958; Dodge, Cline, 1901; Delabarre, 1898; Huey, 1898), a uległo intensyfikacji pod koniec XX wieku, kiedy jakość sprzętu badawczego przestała być ważnym czynnikiem utrudniającym ich prowadzenie (wcześniejsze problemy z niedokładnością otrzymywanych danych, znaczna fizyczna ingerencja urządzeń badawczych w komfort osób badanych, a także wysoki koszt sprzętu). Ruchy gałek ocznych oraz śledzenie ścieżki wzroku próbowano mierzyć za pomocą różnych metod, m.in.: elektrookulografii, wideookulografii, sztucznych soczewek, badania odbić światła w rogówce. Andrew Duchowski (2007) dokonuje obszernego przeglądu aspektów związanych z technologią eye-tracking. Obecnie użycie eye-trackera jest proste, wygodne, relatywnie tanie, a dodatkowo dostarcza dane do badań w wielu dziedzinach wiedzy (m.in. w informatyce, psychologii, marketingu, przemyśle czy medycynie). W 2009 roku istniały 23 firmy oferujące różnorodne systemy eye-trackingu gotowe do użycia przez badaczy (Holmqvist i in., 2011).

Najpowszechniejsza jest konfiguracja stanowiska badawczego opisana poniżej. Zaleca się, aby pomieszczenie laboratoryjne nie miało okien na zewnątrz budynku, było jednorodnie oświetlone, posiadało możliwość wglądu z pomieszczenia sterującego (np. lustro wewnętrzne). Do rejestracji ścieżki wzroku wymagany jest emiter fal podczerwonych i kamera. W zastosowaniach eye-trackingu, szczególnie w informatyce, konieczny jest również komputer, na którym dokonywane są badania (np. użyteczności strony internetowej). Jest też wiele pomniejszych czynników wpływających na jakość zbieranych danych: przykładowo, czy emiter podczerwieni, kamera i urządzenie sterujące (np. mysz lub klawiatura) są ustawione na tym samym stole, czy badany ma szkła korekcyjne, alergie, czy występują inne źródła podczerwieni (Holmqvist i in., 2011). Systemy eye-trackingu różnicuje kilka istotnych czynników: częstotliwość próbkowania, rozdzielczość matrycy kamery, precyzja wyznaczenia parametrów określających kierunek patrzenia, opóźnienia podczas rejestrowania i przetwarzania danych.

Wyznaczenie parametrów określających kierunek patrzenia polega na pomiarze kąta i odległości refleksu podczerwieni od środka źrenicy oka. Rejestrowany przez kamerę obraz jest mapowany na punkty na płaszczyźnie monitora. Człowiek, obserwując otoczenie, wprawia gałki oczne w dwa kluczowe stany: fiksacje (trwające 200–300 ms spojrzenie w jedno miejsce) oraz sakkady (trwające 30–80 ms przerzucenie wzroku z punktu na punkt). Istnieją jeszcze inne stany, jednak nie są one istotne z perspektywy badań użyteczności. Richard Carpenter (1988) prezentuje obszerny przegląd w tym zakresie.

Zaleca się, by pełne badania z wykorzystaniem śledzenia ścieżki wzroku poprzedzić testami zaproponowanych modeli na mniejszej grupie użytkowników. Każdy pomiar powinien

rozpocząć się od kalibracji urządzenia. Ważne jest, żeby odpowiednio zdefiniować miary i tak zwane obszary zainteresowania. Sposób opisu danych oraz dobór metod analitycznych są zależne od indywidualnych uwarunkowań planowanych eksperymentów. Wyniki pomiarów można wizualnie prezentować jako zagregowane mapy uwagi lub diagramy ścieżki wzroku.

Istnieje ponad 120 zdefiniowanych miar pozwalających opisać dane zebrane przy użyciu eye-trackera (Holmqvist i in., 2011). Dzielą się one na cztery główne grupy: miary ruchu (np. kierunek albo amplituda sakkad), miary położenia (np. pozycja pierwszej fiksacji w obszarze zainteresowania), miary liczbowe (np. ogólna liczba fiksacji albo ich częstotliwość), miary opóźnienia (np. czas do pierwszej fiksacji w obszarze zainteresowania). Nie ma przeszkód, aby definiować również własne miary, o ile okażą się przydatne w kontekście prowadzonych badań.

4. Stan wiedzy i obszary do dalszych badań

W ostatnich latach raportowany jest znaczący wzrost liczby publikacji z zakresu wykorzystania eye-trackera (m.in. Lai i in., 2013). Przeprowadzono wiele badań i wiedza w tym zakresie jest dosyć ugruntowana. Badano między innymi:

- wpływ estetyki na użyteczność oprogramowania (Tuch i in., 2012);
- różnice w zachowaniu nowicjuszy i ekspertów (Gegenfurtner, Lehtinen, Säljö, 2011);
- zjawisko „banner-blindness” (Hervet, Guérard, Tremblay, Chtourou, 2011);
- preferencje estetyczne „generacji Y” w odniesieniu do interfejsów sklepów internetowych (Djamasbi, Seigel, Tullis, 2010);
- wiarygodność różnych metod oceny użyteczności strony internetowej (Chiou, Lin, Perng, 2010; Tory, Moller, 2005; Benbunan-Fich, 2001);
- użyteczność map interaktywnych (Roth, Harrower, 2008);
- wpływ zmiany rozmiarów wyników wyszukiwania na jakość odnajdowania informacji (Cutrell, Guan, 2007);
- wpływ usunięcia rankingu z rezultatów wyszukiwania na jakość odnajdowania informacji (Guan, Cutrell, 2007);
- wpływ aspektów kulturowych na ocenę użyteczności (Li, Sun, Zhang, 2007);
- korelację między sposobem graficznej organizacji treści pytań w ankietach internetowych a liczbą błędnie udzielanych odpowiedzi (Tai, Loehr, Brigham, 2006);
- wpływ akcentów kolorystycznych na jakość odnajdowania informacji (Weber, Braun, Crocker, 2006);
- użyteczność systemów ERP (Calisir, Calisir, 2004);
- wpływ rozpraszania uwagi na jakość procesu wyszukiwania informacji (McFarlane, Latorella, 2002);
- sposoby poszukiwania informacji w menu (Byrne, Anderson, Douglass, Matessa, 1999);
- wpływ presji czasu na wzorce obserwacji ekranu (Goldberg, Kotval, 1999);
- różnice w zachowaniu użytkowników obojga płci (Whitley, 1997);
- wzorce nawigowania wzrokiem po kolumnach i wierszach (Crosby, Peterson, 1991).

Wymieniono tylko nieliczne przykłady spośród setek badań, które zostały do tej pory wykonane. Wciąż jednak istnieją obszary do dalszych prac. Brakuje standardów pozwalających w sposób bezwzględny interpretować otrzymane wyniki. Związki pomiędzy miarami eye-trackera a miarami użyteczności powinny zostać dokładniej zbadane. Są również aspekty techniczne wymagające nieustannie ulepszeń (jak np. jakość czy sposób przetwarzania danych). Pojawiające się na rynku nowe technologie (zarówno software, jak i hardware) stanowią interesujący podmiot badań. Bardzo niewiele prac podejmuje temat emocji użytkownika w odniesieniu do użyteczności oprogramowania. Opublikowano zaledwie kilka artykułów omawiających wykorzystanie technologii FaceReader (odczytywanie emocji z mimiki twarzy) do badań użyteczności (m.in. Tan, Rosser, Bakkes, Pison, 2012), gdzie większość z nich dotyczyła graczy komputerowych.

5. Podsumowanie

Użyteczność oprogramowania jest ważnym czynnikiem charakteryzującym jego jakość. Użyteczność oprogramowania można mierzyć na wiele sposobów, natomiast jedna z częściej stosowanych technik polega na śledzeniu ścieżki wzroku. Badania ludzkiej uwagi mają wielowiekową historię, a wnioski z nich płynące znajdują obecnie zastosowanie w stosunkowo nowej dziedzinie wiedzy, jaką jest inżynieria oprogramowania. Istnieje zależność pomiędzy metrykami użyteczności oprogramowania a metrykami eye-trackingu. W dzisiejszych czasach śledzenie ścieżki wzroku jest stosunkowo tania, łatwa i bardzo efektywną metodą weryfikacji różnorodnych czynników jakości. Wiedza na temat wykorzystania eye-trackingu w ocenie użyteczności jest ugruntowana, jednak wciąż wiele obszarów wymaga dalszych prac, między innymi w zakresie standaryzacji, walidacji nowych technologii, a także symultanicznego użycia różnorodnych narzędzi do zbierania danych. Szczególnie interesującym polem do badań może okazać się wykorzystanie eye-trackingu i odczytywania emocji z mimiki twarzy w procesie oceny użyteczności oprogramowania. Z przeprowadzonego przeglądu literatury wynika, że ten temat nie był jeszcze eksplorowany dla oprogramowania użytkowego (jedynie nieliczne publikacje dotyczące gier komputerowych). Tematyka niewątpliwie warta jest uwagi, zwłaszcza że adresatami jest bardzo liczne grono użytkowników oprogramowania, które oczekuje produktów o wysokiej użyteczności.

Bibliografia

- Benbunan-Fich, R. (2001). Using protocol analysis to evaluate the usability of a commercial web site [online, dostęp: 2016-02-01]. *Information & Management*, 39(2), 151–163. Dostępny w Internecie: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378720601000854>.
- Broadbent, D.E. (1958). The effects of noise on behaviour [online, dostęp: 2016-02-01]. W: D.E. Broadbent. *Perception and Communication* (s. 81–107). Elmsford, NY: Pergamon Press. Dostępny w Internecie: <http://psycnet.apa.org/index.cfm?fa=buy.optionToBuy&uid=2004-16224-005>.
- Byrne, M., Anderson, J.R., Douglass, S., Matessa, M. (1999). Eye tracking the visual search of click-down menus. W: *Proceedings CHI '99 Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems, 1999* (s. 402–409) [online, dostęp: 2016-02-01]. New York, NY: ACM. Dostępny w Internecie: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=303118>.
- Calisir, F., Calisir, F. (2004). The relation of interface usability characteristics, perceived usefulness, and perceived ease of use to end-user satisfaction with enterprise resource planning (ERP) systems [online, do-

- stęp: 2016-02-01]. *Computers in Human Behavior*, 20(4), 505–515. Dostępny w Internecie: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563203000748>.
- Carpenter, R.H.S. (1988). Pion Limited Movements of the eyes [online, dostęp: 2016-02-01]. W: R.H.S. Carpenter. *Movements of the Eyes* (s. 593). 2nd rev. & enlarged ed. London: Pion. ISBN 0850861098. Dostępny w Internecie: <http://psycnet.apa.org/index.cfm?fa=search.displayRecord&uid=1988-98287-000>.
- Chin, J., Diehl, V.A., Norman, K.L. (1988). Development of an instrument measuring user satisfaction of the human-computer interface [online, dostęp: 2016-02-01]. W: *Proceedings CHI '88 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (s. 213–218). New York, NY: ACM. Dostępny w Internecie: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=57203>.
- Chiou, W.-C., Lin, C.-C., Perng, C. (2010). A strategic framework for website evaluation based on a review of the literature from 1995–2006 [online, dostęp: 2016-02-01]. *Information & Management*, 47(5–6), 282–290. Dostępny w Internecie: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378720610000510>.
- Crosby, M., Peterson, W.W. (1991). Using eye movements to classify search strategies [online, dostęp: 2016-02-01]. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 35(20), 1476–1480. Dostępny w Internecie: <http://pro.sagepub.com/content/35/20/1476.short>.
- Cutrell, E., Guan, Z. (2007). What are you looking for?: an eye-tracking study of information usage in web search [online, dostęp: 2016-02-01]. W: *Proceedings CHI '07 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2007* (s. 407–416). New York, NY: ACM. ISBN 978-1-59593-593-9. Dostępny w Internecie: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1240690>.
- Davenport, T., Beck, J.C. (2001). *The Attention Economy: Understanding the New Currency of Business* [online, dostęp: 2016-02-01]. Boston, MA: Harvard Business School Press. Dostępny w Internecie: https://books.google.pl/books?hl=en&lr=&id=FuuKd3on9psC&oi=fnd&pg=PR12&dq=The+attention+economy:+Understanding+the+new+currency+of+business&ots=RK0NJC-5Yw&sig=rLGdWYMMhXuhyF68GFVEogM5Gzw&redir_esc=#v=onepage&q=The%20attention%20economy%3A%20Understanding%20the%20new%20currency%20of%20business&f=false.
- Delabarre, E. (1898). A method of recording eye-movements [online, dostęp: 2016-02-01]. *The American Journal of Psychology*, 9(4), 572–574. Dostępny w Internecie: http://www.jstor.org/stable/1412191?seq=1#page_scan_tab_contents.
- Deutsch, J.A., Deutsch, D. (1963). Attention: some theoretical considerations [online, dostęp: 2016-02-01]. *Psychological Review*, 70(1), 80–90. Dostępny w Internecie: <http://psycnet.apa.org/journals/rev/70/1/80/>.
- Djamasbi, S., Seigel, M., Tullis, T. (2010). Generation Y, web design, and eye tracking [online, dostęp: 2016-02-01]. *International Journal of Human-Computer Studies*, 68(5), 307–323. Dostępny w Internecie: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581909001918>.
- Dodge, R., Cline, T.S. (1901). The angle velocity of eye movements [online, dostęp: 2016-02-01]. *Psychological Review*, 8(2), 145–157. Dostępny w Internecie: <http://psycnet.apa.org/journals/rev/8/2/145/>.
- Duchowski, A. (2007). *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice* [online, dostęp: 2016-02-01]. London: Springer. ISBN 978-1-84628-608-7. Dostępny w Internecie: https://books.google.pl/books?hl=en&lr=&id=WtvVdNESRyIC&oi=fnd&pg=PR15&dq=Eye+tracking+methodology:+Theory+and+practice&ots=8lwf8xANbu&sig=w-pFUzX2JgDU6PLkYM75PiMJQT8&redir_esc=#v=onepage&q=Eye%20tracking%20methodology%3A%20Theory%20and%20practice&f=false.
- Gegenfurtner, A., Lehtinen, E., Säljö, R. (2011). Expertise differences in the comprehension of visualizations: A meta-analysis of eye-tracking research in professional domains [online, dostęp: 2016-02-01]. *Educational Psychology Review*, 23(4), 523–552. Dostępny w Internecie: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10648-011-9174-7>.
- Goldberg, J.H., Kotval, X.P. (1999). Computer interface evaluation using eye movements: methods and constructs [online, dostęp: 2016-02-01]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24(6), 631–645. Dostępny w Internecie: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169814198000687>.
- Guan, Z., Cutrell, E. (2007). An eye tracking study of the effect of target rank on web search [online, dostęp: 2016-02-01]. W: *Proceedings CHI '07 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (s. 417–420). New York, NY: ACM. ISBN 978-1-59593-593-9. Dostępny w Internecie: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1240691>.
- Hervet, G., Guérard, K., Tremblay, S., Chtourou, M.S. (2011). Is banner blindness genuine? Eye tracking internet text advertising [online, dostęp: 2016-02-01]. *Applied Cognitive Psychology*, 25(5), 708–716. Dostępny w Internecie: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/acp.1742/full>.

- Holmqvist, K. i in. (2011). *Eye Tracking: A Comprehensive Guide to Methods and Measures* [online, dostęp: 2016-02-01]. Oxford–New York: Oxford University Press. ISBN 978-0-19969708-3. Dostępny w Internecie: https://books.google.pl/books?hl=en&lr=&id=5rIDPV1EoLUC&oi=fnd&pg=PR12&dq=Eye+tracking:+A+comprehensive+guide+to+methods+and+measures&ots=_v3DWUqKoI&sig=SpovYio-ihsx8v7CAr37Qr-oPkhI&redir_esc=y#v=onepage&q=Eye%20tracking%3A%20A%20comprehensive%20guide%20to%20methods%20and%20measures&f=false.
- Huey, E.B. (1898). Preliminary experiments in the physiology and psychology of reading [online, dostęp: 2016-02-01]. *The American Journal of Psychology*, 9(4), 575–586. Dostępny w Internecie: http://www.jstor.org/stable/1412192?seq=1#page_scan_tab_contents.
- ISO 9241-210. (2010). Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centred design for interactive systems [online, dostęp: 2016-02-01]. Dostępny w Internecie: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=52075.
- ISO/IEC 25010. (2011). Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models [online, dostęp: 2016-02-01]. Dostępny w Internecie: http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=35733.
- Just, M.A., Carpenter, P.A. (1976). Eye fixations and cognitive processes [online, dostęp: 2016-02-01]. *Cognitive Psychology*, 8(4), 441–480. Dostępny w Internecie: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0010028576900153>.
- Karn, K.S., Ellis, S., Juliano, C. (1999). The hunt for usability: Tracking eye movements [online, dostęp: 2016-02-01]. W: *Proceedings CHI EA '99 CHI '99 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (s. 173). New York: ACM. ISBN 1-58113-158-5. Dostępny w Internecie: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=632823>.
- Lai, M.-L. i in. (2013). A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012 [online, dostęp: 2016-02-01]. *Educational Research Review*, 10, 90–115. Dostępny w Internecie: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1747938X13000316>.
- Li, H., Sun, X., Zhang, K. (2007). Culture-centered design: Cultural factors in interface usability and usability tests [online, dostęp: 2016-02-01]. W: *Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing* (s. 1084–1088). ISBN 978-0-7695-2909-7. Dostępny w Internecie: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4288011&tag=1.
- MacLeod, M., Bowden, R., Bevan, N., Curson, I. (1997). The MUSIC Performance Measurement Method [online, dostęp: 2016-02-01]. *Behaviour & Information Technology*, 16(4–5), 279–293. Dostępny w Internecie: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/014492997119842>.
- McFarlane, D.C., Latorella, K.A. (2002). The scope and importance of human interruption in human-computer interaction design [online, dostęp: 2016-02-01]. *Human-Computer Interaction*, 17(1), 1–61. Dostępny w Internecie: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1464474>.
- Noton, D., Stark, L. (1971). Scanpaths in saccadic eye movements while viewing and recognizing patterns [online, dostęp: 2016-02-01]. *Vision Research*, 11(9), 929–942. Dostępny w Internecie: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0042698971902136>.
- Posner, M.I. (1980). Orienting of attention [online, dostęp: 2016-02-01]. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1), 3–25. Dostępny w Internecie: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00335558008248231>.
- Roth, R.E., Harrower, M. (2008). Addressing map interface usability: Learning from the lakeshore nature preserve interactive map [online, dostęp: 2016-02-01]. *Cartographic Perspectives*, 60, 46–66. Dostępny w Internecie: <http://www.cartographicperspectives.org/carto/index.php/journal/article/view/cp60-roth-harrower>.
- Tai, R.H., Loehr, J.F., Brigham, F.J. (2006). An exploration of the use of eye-gaze tracking to study problem-solving on standardized science assessments [online, dostęp: 2016-02-01]. *International Journal of Research & Method in Education*, 29(2), 185–208. Dostępny w Internecie: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17437270600891614>.
- Tan, C.T., Rosser, D., Bakkes, S., Pisin, Y. (2012). A feasibility study in using facial expressions analysis to evaluate player experiences [online, dostęp: 2016-02-01]. W: *Proceedings IE '12 Proceedings of the 8th Australasian Conference on Interactive Entertainment: Playing the System* (s. 40–49). New York: ACM. ISBN 978-1-4503-1410-7. Dostępny w Internecie: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2336732>.

- Tory, M., Moller, T. (2005). Evaluating visualizations: do expert reviews work? [online, dostęp: 2016-02-01]. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 25(5), 8–11. Dostępny w Internecie: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1510530&tag=1.
- Treisman, A.M., Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention [online, dostęp: 2016-02-01]. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97–136. Dostępny w Internecie: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0010028580900055>.
- Tuch, A.N. i in. (2012). Is beautiful really usable? Toward understanding the relation between usability, aesthetics, and affect in HCI [online, dostęp: 2016-02-01]. *Computers in Human Behavior*, 28(5), 1596–1607. Dostępny w Internecie: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563212000908>.
- Wade, N., Tatler, B.W. (2005). *The Moving Tablet of the Eye. The Origins of Modern Eye Movement Research* [online, dostęp: 2016-02-01]. Oxford: Oxford University Press. ISBN 0-19-856616-6. Dostępny w Internecie: <http://apps.usd.edu/coglab/schieber/docs/Wade-Tatler-2005.pdf>.
- Weber, A., Braun, B., Crocker, M.W. (2006). Finding referents in time: eye-tracking evidence for the role of contrastive accents [online, dostęp: 2016-02-01]. *Language and Speech*, 49(3), 367–392. Dostępny w Internecie: <http://las.sagepub.com/content/49/3/367.short>.
- Westfall, L. (2005). *12 Steps to Useful Software Metrics* [online, dostęp: 2016-02-01]. *Information and Software Technology*. Dostępny w Internecie: http://www.win.tue.nl/~wstomv/edu/2ip30/references/Metrics_in_12_steps_paper.pdf.
- Whitley, B.E. (1997). Gender differences in computer-related attitudes and behavior: A meta-analysis [online, dostęp: 2016-02-01]. *Computers in Human Behavior*, 13(1), 1–22. Dostępny w Internecie: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S074756329600026X>.
- Wichansky, A.M. (2000). Usability testing in 2000 and beyond [online, dostęp: 2016-02-01]. *Ergonomics*, 43(7), 998–1006. Dostępny w Internecie: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/001401300409170>.
- Yarbus, A.L. (1967). Eye movements during perception of complex objects [online, dostęp: 2016-02-01]. W: A.L. Yarbus. *Eye Movements and Vision* (s. 171–211). New York: Plenum Press. Dostępny w Internecie: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4899-5379-7_8.

Eye-tracking in software usability evaluation

Abstract: The aim of this paper is to review the literature associated with the use of eye-tracking in evaluating the usability of software. Evaluation of the usability is a difficult process because of a significant role played by individual characteristics and preferences of the users. These individuals are strong impediments in formulating general patterns. Eye-tracking consists of measuring the movements of the eyeballs and mapping them to the elements in the space where the user's eyesight is directed. This process is one of the basic tools for evaluating the usability of software. This paper at first discusses the importance of the usability of software and methods of its

evaluation. The relationship between usability metrics and eye-tracking metrics is presented. Later, the eye-tracking methodology is discussed. The history of the eye-tracking research is mentioned, as well as recommended configuration standards of the test procedures. The basics of vision physics and exemplary measurements are described. Then various experiments are listed and fields for further study are indicated. Knowledge in this topic is already established but further work is still needed, among others, in the area of standardisation, validation of new technologies and the simultaneous use of additional data sources (eg. FaceReader).

Key words: software usability, eye-tracking